スピーカー負荷時のアンプの周波数特性

猪俣　宏

オーディオアンプの諸特性は通常，純抵抗負荷で測定されていることは周知のとおりです．スピーカーを負荷して測定すれば，アンプの大出力時にスピーカーは暴音の発生とともに破壊する恐れもあるので，純抵抗を負荷とする測定は止むを得ない方法と思われます．

ただし，実際の負荷がスピーカーであって，またスピーカーのインピーダンスが純抵抗と大きく異なることも事実であり，スピーカーを負荷としたときのアンプの特性は興味のあるテーマといえます．今回は，スピーカーに強いストレスがかからない程度の出力(約0.1W)で，アンプの周波数特性測定および方形波写真にトライしてみることにしました．

図1は少々旧いモデルですが，英国タンノイ製スピーカー，ⅢLZのインピーダンス特性です．表示インピーダンスは8Ωですが，周波数の変化に伴って約6～22Ωの範囲で大幅に変化しています．

現在，スピーカーは膨大な機種がありますが，周波数の変化に伴ってインピーダンスが大幅に変化する特徴については共通しており，スピーカーの宿命のようなものと思われます．また，スピーカーは，別の事由として，インピーダンスが大幅に変化するにもかかわらず，全周波数帯で一定の電圧を供給されることが最善の音響再生の条件となっています．

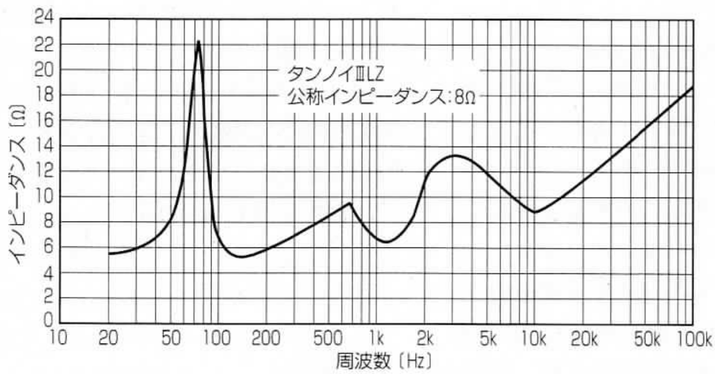
一方，オーディオアンプはスピーカー駆動電源ですから，スピーカーの要求を満足させる性能が必要となります．

オーディオアンプの特性の一つにダンピングファクター(DF)があります．これは指定の負荷抵抗をアンプの出力インピーダンス（内部インピーダンス）で割った数値で，DFの大きいほど出力インピーダンスの低い電源であって，先のスピーカーの要求である，インピーダンスが変化しても一定の電圧を供給する性能が優れていることになります．

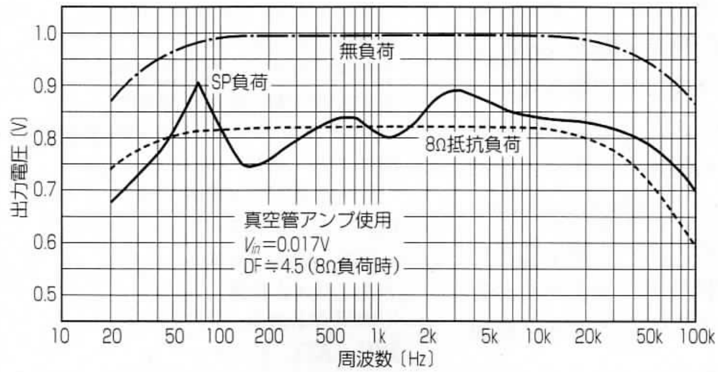
図2は最大出力20Wの真空管アンプの周波数特性で，無負荷時，8Ω抵抗負荷時，スピーカー ⅢLZ負荷時の3種の特性曲線を示します．

このアンプの利得は，入力0.017Vで8Ω負荷時の出力が約0.82V（1kHz）で約33.7dBです．周波数特性は，8Ω抵抗負荷時30Hz～20kHzほぼフラットとまずまずの特性です．**図2**の実線の曲線は，このアンプにスピーカー ⅢLZを負荷したときの特性で，スピーカーのインピーダンスの変化がアンプのf特にも影響し，50Hz～5kHzの間で2dB程度のピークとディップが発生しており，音声の基本波と高調波のバランスがくずれて音色に異常が生じそうです．

図2の特性から，このアンプの出力インピーダンス(Z_0)およびダンピングファクター(DF)を算出することができます．



[図1]　タンノイ ⅢLZの実測インピーダンス特性



[図2]　DF 4.5，ゲイン約33.7dB時の測定アンプの周波数特性



[写真1]　測定に使用した出力20Wの自作真空管パワーアンプ

$Z_O=(V_O-V_L)/I_R \quad I_R=V_L/R_L$

$DF=R_L/Z_O$

V_O：無負荷電圧

V_L：負荷電圧（8Ω抵抗負荷）

I_R：負荷電流（8Ω抵抗負荷）

R_L：負荷抵抗（8Ω）

図2の特性の数値を代入して当アンプの出力インピーダンスとダンピングファクターを計算すると，

Z_O≒1.76Ω（1kHz時）

DF≒4.5（1kHz時）

となります．

図3は，同アンプにNFBをかけて出力インピーダンスを下げ，DFを大きくした場合の周波数特性です．アンプの利得は，入力0.095Vで8Ω抵抗負荷時の出力が約0.96V(1kHz)で約20dB．周波数特性は，8Ω抵抗負荷時20Hz～100kHz（−0.5dB）で完璧です．

図3の実線はスピーカーⅢLZを負荷としたときのf特で，0.2～0.3dBのピーク，ディップが発生していますが，再生音色に異常を感じるようなことはないと思われます．

前記の式に**図3**の特性曲線の数値を代入して，このアンプの電源インピーダンスとダンピングファクターを計算すると，

Z_O≒0.33Ω（1kHz時）

DF≒24（1kHz時）

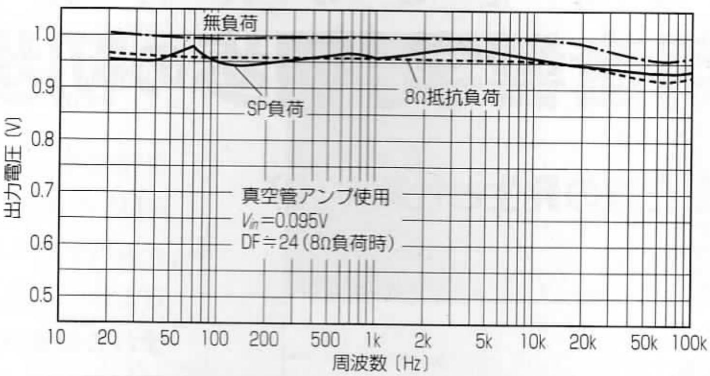
となります．

写真2は**図2**に示した特性のアンプの方形波応答です．(a)～(c)が8Ω抵抗負荷時，(d)～(f)がスピーカー負荷時で，それぞれ100Hz，400Hz，2kHzの出力波形です．**図2**のスピーカー負荷時のf特と符合して，スピーカー負荷時の方形波はやや乱れています．

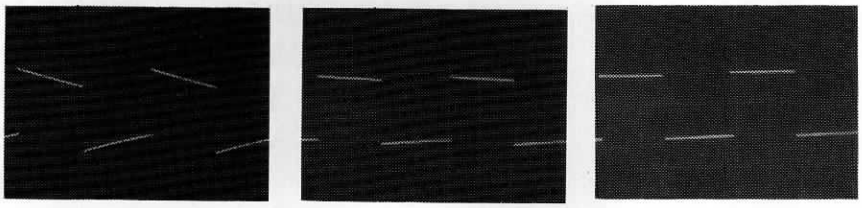
写真3は**図3**に示した特性のアンプの方形波応答です．(a)～(c)が8Ω抵抗負荷時，(d)～(f)がスピーカー負荷時で，それぞれ100Hz，400Hz，2kHzの出力波形です．このアンプの方形波は8Ω抵抗負荷時に完全であるばかりではなく，スピーカー負荷時においてもほぼ完全な波形です．

オーディオアンプのダンピングファクターはスピーカーの制動力に関わる係数と思われますが，それとは別な作用として，スピーカーを負荷したときのアンプの周波数特性に影響する係数であることがわかりました．

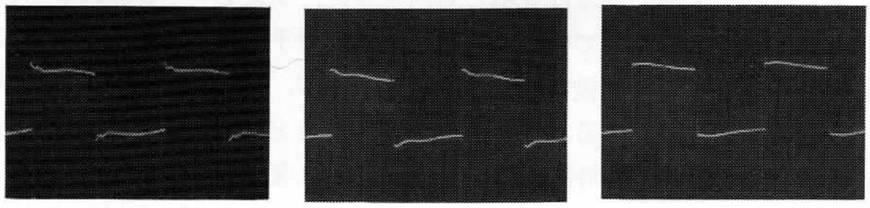
（東京都三鷹市　71歳）



［図3］ NFBを施し，DF 24，ゲイン約20dBとした場合の測定アンプの周波数特性

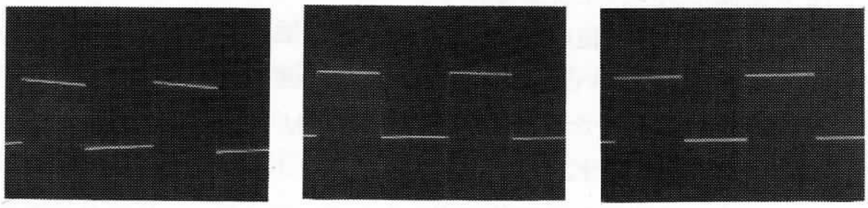


(a) 100Hz／8Ω抵抗負荷　(b) 400Hz／8Ω抵抗負荷　(c) 2kHz／8Ω抵抗負荷

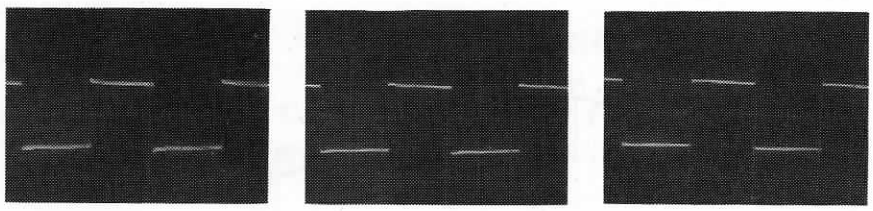


(d) 100Hz／スピーカー負荷　(e) 400Hz／スピーカー負荷　(f) 2kHz／スピーカー負荷

［写真2］ 図2特性時のアンプの方形波応答



(a) 100Hz／8Ω抵抗負荷　(b) 400Hz／8Ω抵抗負荷　(c) 2kHz／8Ω抵抗負荷



(d) 100Hz／スピーカー負荷　(e) 400Hz／スピーカー負荷　(f) 2kHz／スピーカー負荷

［写真3］ 図3特性時のアンプの方形波応答